

Литература

1. Геккер Ф.Р. Динамика машин, работающих без смазочных материалов в узлах трения. – М.: Машиностроение, 1983. – 168 с.
2. Вопросы долговечности муфт сцепления тракторов / С.Г. Борисов, С.А. Лапшин, В.Я. Юденко, В.Б. Захаров // Тракторы и сельхозмашины. – 1980, № 3. – С. 22-24.
3. Трение, изнашивание и смазка: Справочник. В 2-х книгах. Кн.2/ Под ред. И.В. Крагельского и В.В. Алисина. – М.: Машиностроение, 1979. – 358 с.
4. Теория и проектирование фрикционных сцеплений колесных и гусеничных машин / В.М. Шарипов, Н.Н. Шарипова, А.С. Шевелев, Ю.С. Щетинин; Под общ. ред. В.М. Шарипова. – М.: Машиностроение, 2010. – 170 с.
5. Шарипов В.М. Конструирование и расчет тракторов. – М.: Машиностроение, 2009. 752 с.
6. Щеренков Г.М. Пары трения автомобильных сцеплений (теория, испытания и расчет): Дисс... д-ра техн. наук. – Ярославль, 1976. – 370 с.
7. Вернигор В.А., Солонский А.С. Переходные режимы тракторных агрегатов. – М.: Машиностроение, 1983. – 183 с.
8. Барский И.Б., Анилович В.Я., Кутьков Г.М. Динамика трактора. – М.: Машиностроение, 1973. – 280 с.
9. Чунихин В.И. Исследование долговечности пар трения тракторных муфт сцепления и некоторых путей ее повышения: Дисс... канд. техн. наук. – М., 1977. 204 с.
10. Лялин В.П. Выбор оптимальных геометрических параметров пар трения с целью улучшения характеристик теплового режима и работоспособности муфты сцепления трактора: Дисс... канд. техн. наук. – М., 1984. – 167 с.

Определение параметров буксования фрикционных муфт для различных вариантов их установки в тракторных коробках передач при переключении передач без разрыва потока мощности

д.т.н. проф. Шарипов В.М., к.т.н. Дмитриев М.И., Зенин А.С., Круглов С.М., Маланин И.А.
Университет машиностроения
(495) 223-05-23, доб. 1111, trak@mami.ru

Аннотация. В статье приведена методика расчета работы и времени буксования фрикционной муфты при переключении передач без разрыва потока мощности для любых вариантов относительного расположения фрикционных муфт в тракторной коробке передач

Ключевые слова: фрикционная муфта, работа буксования, переключение передач без разрыва потока мощности

В конструкциях современных коробок передач (КП) с неподвижными осями валов переключение передач без разрыва потока мощности от двигателя выполняется с помощью фрикционных муфт (ФМ) [1]. В зависимости от выбранной кинематической схемы КП могут применяться различные варианты размещения ФМ на ее валах. При этом ФМ могут устанавливаться как одним, так и на разных валах в КП.

При переключении передач в КП с помощью ФМ совершается работа L буксования, которая является одним из важнейших показателей, определяющих теплонапряженность и ресурс ФМ.

До настоящего времени процесс переключения передач с помощью ФМ в КП изучен недостаточно полно. Поэтому при существующих теоретических наработках по переключению передач без разрыва потока мощности возникает необходимость схематизации самого процесса переключения для определения значений времени и работы буксования ФМ.

Безразрывное переключение, обеспечиваемое одновременной работой двух передач в течение короткого отрезка времени (перекрытия передач), имеет ряд особенностей. Протекающие процессы безразрывного переключения передач зависят от параметров ФМ, обеспечивающих переключение, длительности перекрытия, параметров машинотракторного агрегата

(МТА) и условий его эксплуатации [2-6].

Процесс переключения передач с перекрытием с низшей передачи на высшую в КП с неподвижными осями валов рассмотрим на примере так называемого «элементарного узла» [2], который состоит из двух параллельных валов, соединенных между собой двумя зубчатыми передачами. Передачи включаются и выключаются с помощью ФМ Φ_{K-1} и Φ_K . В таком узле ФМ могут работать поочередно и совместно. При рассмотрении работы КП с неподвижными осями валов без разрыва потока мощности можно выделить в КП четыре возможных варианта элементарных узлов (рисунок 1).

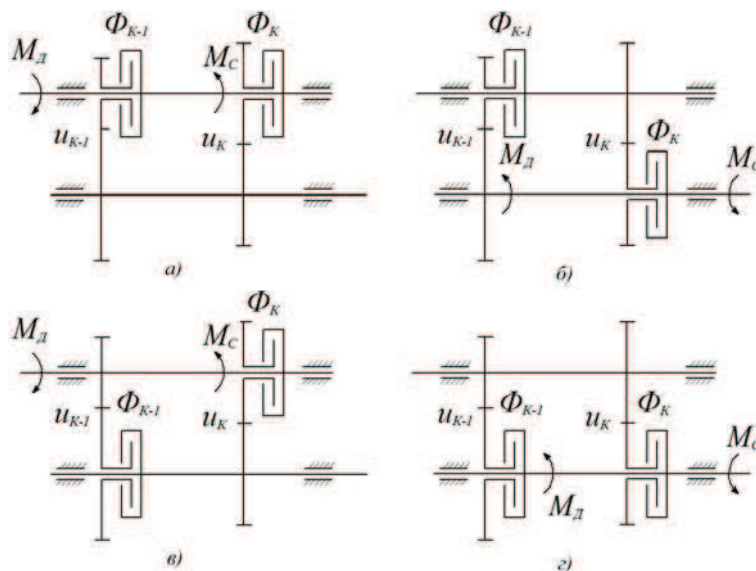


Рисунок 1. Варианты элементарного узла КП с двумя ФМ

В результате любую рассматриваемую сложную кинематическую схему КП можно разбить на несколько элементарных узлов, а затем анализировать работу каждого в интересующих режимах и условиях нагружения.

Когда обе ФМ установлены на ведущем валу (рисунок 2) их параметры буксования при переключении передач без разрыва потока мощности для элементарного узла КП определены в работах [3-6]. Здесь шестерни 3 и 4 установлены на ведущем валу 1 свободно и могут быть связаны с ним с помощью ФМ Φ_{K-1} и Φ_K соответственно. Шестерни 5 и 6 жестко связаны с ведомым валом 2. Пара шестерен 3 и 5 и ФМ Φ_{K-1} образуют $K - 1$ передачу, а пара шестерен 4 и 6 и ФМ Φ_K – K передачу.

В этом случае уравнения динамики для ведущих и ведомых частей включаемой ФМ Φ_K имеют вид (см. рис. 2):

$$M_d - M_T - M_{T-1} = J_d \frac{d\omega_d}{dt}; \quad (1)$$

$$M_{T-1} \frac{u_{K-1}}{u_K} + M_T - M_c = J_n \frac{d\omega_n}{dt}, \quad (2)$$

где: M_T – момент трения включаемой ФМ Φ_K ; M_{T-1} – момент, передаваемый выключаемой ФМ Φ_{K-1} .

Для исследования процесса разгона МТА и работы буксования ФМ в КП с различной степенью перекрытия передач использовалась диаграмма разгона МТА, приведенная на рисунке 3 [3-6]. На основе этой диаграммы были получены зависимости для определения угловой скорости ведомого вала включаемой ФМ в КП в конце буксования, времени и работы её буксования, когда обе ФМ расположены на ведущем валу КП, и времени разгона МТА на заданной передаче [3-6].

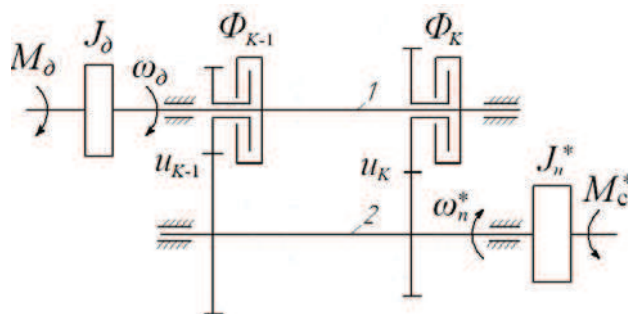


Рисунок 2. Двухмассовая динамическая модель МТА с элементарным узлом КП: 1, 2 – ведущий и ведомый валы КП соответственно; Φ_{K-1} и Φ_K – ФМ соответственно К – 1 и К передачи; M_d и ω_d – крутящий момент и угловая скорость вала двигателя, приведенные к валу включаемой ФМ; J_d – момент инерции двигателя и связанных с ним деталей, приведенный к валу включаемой ФМ; M_c^* и J_n^* – момент сопротивления движению и момент инерции МТА, приведенные к ведомому валу КП; ω_n^* – угловая скорость ведомого вала КП; u_{k-1} и u_k – передаточное число КП соответственно на К – 1 и К передаче

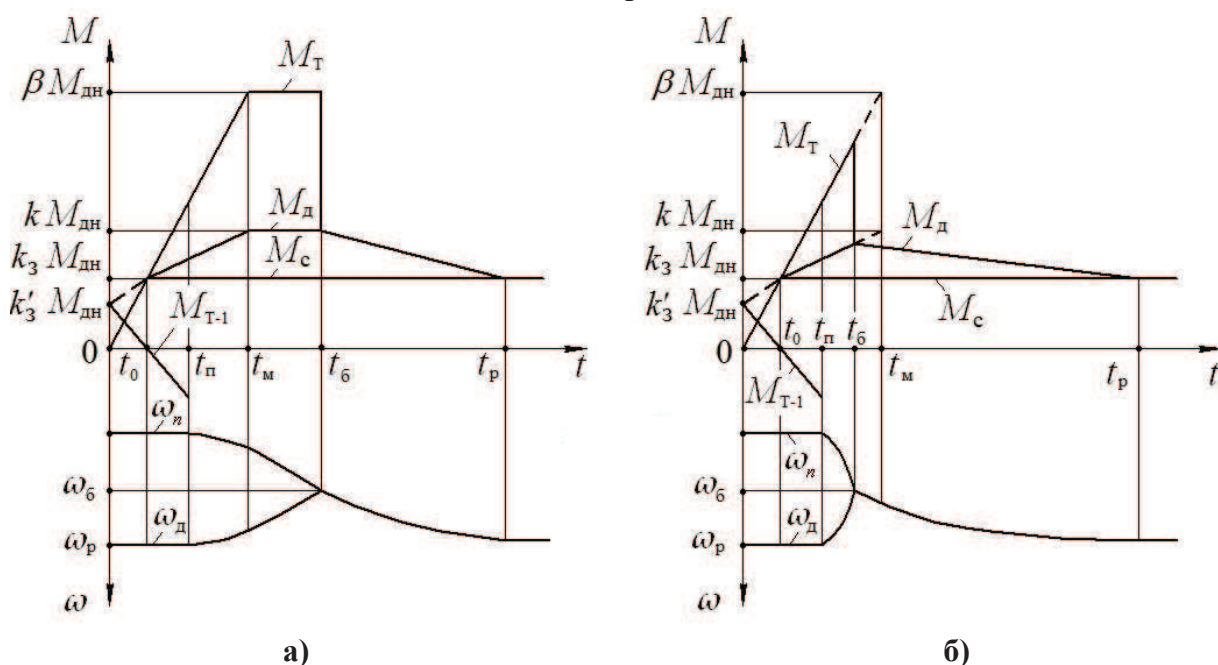


Рисунок 3. Диаграмма разгона МТА при переключении передач без разрыва потока мощности от двигателя: а - с «полкой» ($t_6 > t_m$); б - «треугольная» ($t_6 \leq t_m$)

Здесь $M_{дн}$ и M_c – номинальный крутящий момент двигателя и момент сопротивления движению МТА, приведенные к валу включаемой ФМ Φ_K ; ω_d , ω_n , ω_p – угловые скорости соответственно вала двигателя, ведомого вала КП и вала двигателя при эксплуатационной нагрузке, приведенные к валу включаемой ФМ Φ_K ; ω_6 – угловая скорость вала включаемой ФМ Φ_K в конце её буксования; t_0 – время буксования включаемой ФМ Φ_K до начала движения МТА; t_n – время перекрытия передач; t_m и t_6 – время соответственно включения и буксования ФМ Φ_K ; t_p – время разгона МТА на включаемой передаче; β – коэффициент запаса включаемой ФМ Φ_K ; k – коэффициент приспособляемости двигателя; k_3 – коэффициент загрузки двигателя на включаемой передаче с помощью ФМ Φ_K ; k'_3 – коэффициент загрузки двигателя на предыдущей передаче.

Рассмотрим теперь элементарный узел КП, в котором ФМ Φ_{k-1} выключаемой передачи установлена на ведущем валу КП, а ФМ Φ_k включаемой передачи – на ведомом (рисунок 1,б).

Запишем уравнения динамики для ведущих и ведомых частей включаемой ФМ Φ_k (рисунок 4):

$$M_d - M_T - M_{T-1}u_k = J_d \frac{d\omega_d}{dt}; \quad (3)$$

$$M_{T-1}u_{k-1} + M_T - M_C = J_n \frac{d\omega_n}{dt}, \quad (4)$$

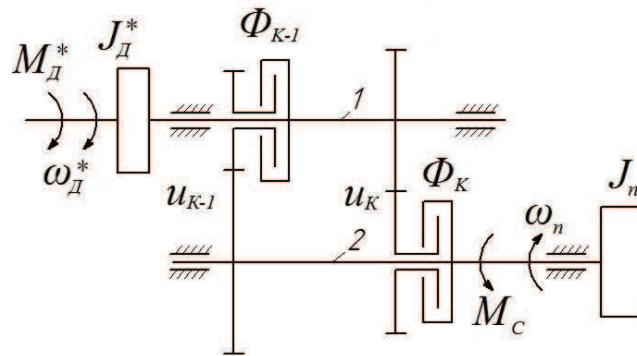


Рисунок 4. Двухмассовая динамическая модель МТА с элементарным узлом КП с ФМ включающей передачи на ведомом валу: M_d^* и ω_d^* - крутящий момент и угловая скорость вала двигателя, приведенные к ведущему валу КП; J_d^* - момент инерции двигателя, приведенный к ведущему валу КП; M_C и J_n - момент сопротивления движению и момент инерции тракторного агрегата, приведенные к валу включающей ФМ Φ_k

С учетом закона схематизации момента $M_T = M_{дн} \cdot k_3 t/t_0$ на включающей ФМ Φ_k (рисунок 3) получим, что уравнение для момента двигателя M_d будет иметь вид: $M_d = M_C u_k/u_{k-1} + M_T(1 - u_k/u_{k-1})$. Из уравнений (3) и (4), с учетом, допущения, что угловые скорости ω_d вала двигателя и ω_n ведомого вала КП в период переключения в интервале времени $(0 \dots t_n)$ не изменяются, определим характер изменения момента M_{T-1} на валу выключающей ФМ Φ_{k-1} : $M_{T-1} = k'_3 M_{дн} - M_{дн} \cdot k_3 t/t_0 \cdot u_k/u_{k-1}$. Следовательно, здесь выражения для M_d , M_{T-1} , так же как и все, вычисляемые на их основе: работа буксования L_0 , L_1 , L_2 и L_3 на интервалах времени от 0 до t_6 , время t_6 буксования, угловая скорость ω_6 в конце буксования и время t_p разгона МТА будут аналогичны выражениям для случая, когда ФМ располагаются на ведущем валу [3-6].

Когда ФМ Φ_k включающей передачи находится на ведущем валу, а ФМ Φ_{k-1} выключающей передачи находится на ведомом валу (рисунок 1,в), уравнения моментов запишутся в виде:

$$M_d - M_T - M_{T-1} \frac{1}{u_{k-1}} = J_d \frac{d\omega_d}{dt}; \quad (5)$$

$$M_{T-1} \frac{1}{u_k} + M_T - M_C = J_n \frac{d\omega_n}{dt}. \quad (6)$$

Уравнения моментов для случая, когда обе ФМ расположены на ведомом валу КП (рисунок 1,г):

$$M_d - M_T - M_{T-1} \frac{u_k}{u_{k-1}} = J_d \frac{d\omega_d}{dt}; \quad (7)$$

$$M_{T-1} + M_T - M_C = J_n \frac{d\omega_n}{dt}. \quad (8)$$

При внимательном рассмотрении уравнений для всех четырех случаев (1 и 2, 3 и 4, 5 и 6, 7 и 8) расположения ФМ в элементарном узле КП видно, что они различаются только характером приведения момента M_{T-1} , передаваемого выключаемой ФМ Φ_{k-1} . Это еще раз доказывает, что при принятых допущениях относительное расположение ФМ в элементарном узле КП не оказывает влияния на итоговый результат вычислений параметров буксования включаемой ФМ Φ_k , процесса переключения передач и разгона МТА.

Таким образом, работа L и время t_6 буксования ФМ будут вычисляться по формулам (вывод которых представлен в работах [3-6]), приведенным ниже, вне зависимости от места установки ФМ в КП (для любого вида элементарного узла).

Если разгон происходит по диаграмме «с полкой» (рисунок 3,а), то:

$$L = L_0 + L_1 + L_2 + L_3, \text{ где:} \quad (9)$$

$$L_0 + L_1 = \frac{M_{дн} \omega_p t_n (t_n \beta^2 - 2t_m \beta \kappa_3)}{2t_m \beta} \left(1 - \frac{u_k}{u_{k-1}}\right);$$

$$L_2 = \frac{M_{дн} \beta}{t_m} \left[\frac{\omega_p}{2} \left(1 - \frac{u_k}{u_{k-1}}\right) \left(t_m^2 - t_n^2 - \frac{(t_m - t_n)^3 [3\beta(t_m + t_n) - 2\kappa_3 t_m]}{6t_m (t'_m - t_n)(\beta - \kappa_3)} \right) \right];$$

$$L_3 = \frac{M_{дн} \omega_p \beta (t'_m - t_n)^2}{4(t'_m - t_n)} \left(1 - \frac{u_k}{u_{k-1}}\right);$$

$$t_6 = \frac{t_m + t'_m}{2}. \quad (10)$$

Если разгон происходит по «треугольной» диаграмме (рисунок 3,б), то:

$$L = L_0 + L_1 + L_2, \text{ где:} \quad (11)$$

$$L_0 + L_1 = \frac{M_{дн} \omega_p t_n (t_n \beta^2 - 2t_m \beta \kappa_3)}{2t_m \beta} \left(1 - \frac{u_k}{u_{k-1}}\right);$$

$$L_2 = \frac{M_{дн} \beta \omega_p}{2t_m} \left(1 - \frac{u_k}{u_{k-1}}\right) \left[t_6^2 - t_n^2 - \frac{1}{6(t_m - t_n)(t'_m - t_n)} \times \right.$$

$$\left. \times \left((t_6 - t_n)^3 (3t_6 + t_n) - \frac{\beta t_n - \kappa_3 t_m}{t_m (\beta - \kappa_3)} \left\{ (t_6 - t_m)^3 (3t_6 + t_m) + (t_m - t_n)^3 (3t_n + t_m) \right\} \right) \right];$$

$$t_6 = \frac{\sqrt{t_m (\beta - \kappa_3) (\beta t'_m - \kappa_3 t_m)} + \kappa_3 t_m}{\beta}. \quad (12)$$

Для того чтобы определить, по какому из вариантов будет происходить разгон МТА (рисунок 3), необходимо вычислить время t'_m включения ФМ, при котором $t_m = t_6$:

$$t'_m = \frac{2\omega_p \left(1 - \frac{u_k}{u_{k-1}}\right)}{M_{дн} \left(\frac{\beta - \kappa}{J_d} + \frac{\beta - \kappa_3}{J_n} \right)} + t_n. \quad (13)$$

Если $t'_m > t_m$, то $t_6 > t_m$ (рисунок 3,а). Тогда работа L и время t_6 буксования ФМ включаемой передачи определяются соответственно из выражений (9) и (10).

Если $t'_m \leq t_m$, то $t_6 \leq t_m$ (рисунок 3,б). Тогда работа L и время t_6 буксования ФМ определяются соответственно из выражений (11) и (12).

Одним из важнейших параметров процесса разгона МТА является минимальная угловая скорость ω_6 вала двигателя в конце буксования ФМ, которая для обоих случаев, когда $t_6 > t_m$ и $t_6 \leq t_m$, будет вычисляться по общей зависимости:

$$\omega_6 = \omega_p \frac{1 + \frac{u_k}{u_{k-1}} \frac{J_n (B - K)}{J_d (B - K_3)}}{1 + \frac{J_n (B - K)}{J_d (B - K_3)}}. \quad (14)$$

С учетом выражения (14) формула (13) для расчета t'_m примет вид:

$$t'_m = \frac{2J_n \left(\omega_6 - \frac{u_k}{u_{k-1}} \omega_p \right)}{M_{дн} (B - K_3)} + t_n.$$

Для определения времени t_p разгона МТА на включаемой передаче рассмотрим временной интервал $(t_6 - t_p)$, когда разгон обеспечивается запасом крутящего момента двигателя.

Запишем уравнение моментов на основе двухмассовой динамической модели применительно к элементарному узлу КП (рисунок 2) с условием того, что фрикционный узел на данном интервале уже не буксует:

$$M_d - M_c = (J_d + J_n) \frac{d\omega_d}{dt}. \quad (15)$$

При прочих равных условиях время t_p разгона МТА будет зависеть от вида диаграммы разгона (рисунок 3). Поэтому, решая уравнение (15), получим:

- для случая разгона, когда $t_6 > t_m$ (рисунок 3,а),

$$t_p = t_6 + \frac{2(\psi_p - \psi_6)(J_d + J_n)}{M_{дн} (K - K_3)};$$

- для случая разгона, когда $t_6 \leq t_m$ (рисунок 3,б),

$$t_p = t_6 + \frac{2(\omega_p - \omega_6)(J_d + J_n)}{M_{дн} (K - K_3)} \sqrt{t'_m}.$$

Достоверность данной математической модели процесса буксования ФМ в КП трактора и методики расчета ее работы буксования при переключении передач с различной степенью перекрытия и при трогании машины с места подтверждена сопоставлением расчётных и экспериментальных значений работы L и времени t_6 буксования ФМ, угловой скорости ω_6 вала включаемой ФМ в конце её буксования. Экспериментальные данные для сравнения были взяты из работ А.Д. Ананьина [7], К.Я. Львовского [2], В.И. Чунихина [8], В.А. Петренко [9], В.Е. Захарова [10], Е.М. Шапиро [11] и собственных исследований [3-6]. В результате установлено, что расхождение результатов расчетов с результатами экспериментальных исследований по величине работы буксования ФМ в КП с различной степенью перекрытия передач не превышает 10,9%, а при трогании МТА с места – 17%.

Таким образом, полученные выражения для расчета работы и времени буксования ФМ при переключении передач в КП с различной степенью перекрытия являются универсальными, так как позволяют выполнять расчеты работы и времени буксования ФМ и разгона МТА как при переключении передач с различной степенью перекрытия, так и при трогании и разгоне МТА с места и являются справедливыми для любого типа элементарного узла КП. Для случая трогания и разгона МТА с места на заданной передаче принимаем время перекрытия

$t_n = 0$ и отношение $u_k / u_{k-1} = 0$.

Литература

1. Тракторы. Конструкция/ В.М. Шарипов, Л.Х. Арустамов, К.И. Городецкий и др.; Под общ. ред. В.М. Шарипова. – М.: Машиностроение, 2012. – 790 с.
2. Львовский К.Я. Исследование процессов переключения передач под нагрузкой в тракторных трансмиссиях: Дисс...канд. техн. наук. – М., 1970. – 276 с.
3. Работа сцепления в коробке передач при переключении передач без разрыва потока мощности от двигателя. / В.М. Шарипов, М.И. Дмитриев, А.С. Зенин, Я.В. Савкин // Справочник. Инженерный журнал, 2010, № 11. с. 8-15.
4. Шарипов В.М., Дмитриев М.И., Крючков В.А. Нагруженность фрикционных муфт и синхронизаторов в коробке передач. - Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. KG, 2012. – 122 с.
5. Математическая модель процесса переключения передач с помощью фрикционных муфт/ В.М. Шарипов, К.И. Городецкий, М.И. Дмитриев и др. // Известия МГТУ «МАМИ». Научный рецензируемый журнал. – М., МГТУ «МАМИ», № 1 (13), 2012. - с. 112-121.
6. Переключение передач в КП трактора без разрыва потока мощности/ В.М. Шарипов, К.И. Городецкий, М.И. Дмитриев и др. // Тракторы и сельхозмашины, 2012, № 5. - с. 19-23.
7. Ананьин А. Д. Исследование энергонагруженности муфты сцепления колесного трактора при трогании скоростного машинно-тракторного агрегата: Дисс...канд. техн. наук. – М., 1972. – 156 с.
8. Чунихин В.И. Исследование долговечности пар трения тракторных муфт сцепления и некоторых путей её повышения: Дисс...канд. техн. наук. - М., 1977. - 204 с.
9. Петренко В.А. Исследование режимов работы муфт сцепления тракторов высокой энергонагруженности: Дисс... канд. техн. наук. – Харьков, 1973. – 181 с.
10. Захаров В.Е. Исследование нагруженности, износа деталей и уточнение методов стендовых испытаний муфт сцепления тракторов: Дисс...канд. техн. наук. – М., 1981. – 210 с.
11. Оценка работы трения фрикционной муфты в гидромеханической и механической трансмиссиях пахотного колёсного трактора класса 3 при трогании. / Е.М. Шапиро, В.М. Иванов, Л.П. Соколов и др. // Тракторы и сельхозмашины, 1979, № 8. – с. 12, 13.

Электрогидравлические аппараты для управления фрикционными механизмами трансмиссий

д.т.н. проф. Шипилевский Г.Б., Строков А.М.
Университет машиностроения
gbship@mail.ru

Аннотация. Электрогидравлические аппараты широко применяются для управления фрикционными механизмами трансмиссий, содержащими многодисковые «мокрые» муфты или тормоза. В зависимости от назначения и условий включения механизмов применяются аппараты либо релейного, либо пропорционального действия. В последних применяются электромагниты пропорционального действия, в которых при определённом зазоре между якорем и сердечником усилие притяжения между ними зависит только от величины тока через обмотку. По устройству и принципу действия такие аппараты могут быть прямого действия или с серводействием.

Ключевые слова: фрикционные механизмы, многодисковые муфты, электрогидравлические аппараты, электромагниты, пропорциональное действие

В трансмиссиях машин широко применяются фрикционные механизмы для включения и выключения различных приводов. Часто они представляют собой многодисковые муфты или тормоза, работающие в масле (мокрые) и сжимаемые при включении давлением рабочей жидкости гидросистемы трансмиссии, действующим на поршень цилиндра (бустера). Управ-